



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 40 135.7

Anmeldetag: 30. August 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG,
München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur digitalen
Filterung interpolierter Werte

Bemerkung: Die nachgereichte Seite 6 der Beschreibung
ist am 09. September 2002 eingegangen.

IPC: H 03 H, H 03 M

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. August 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hintermeier



Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Filterung interpolierter Werte

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur digitalen Filterung eines zeitdiskreten Eingangssignals, das durch ganzzahlige oder nicht ganzzahlige Interpolation eines Vorsignals erzeugt wird, wobei die Frequenz des Eingangssignals ungleich der Frequenz des Vorsignals ist und Werte eines Ausgangssignals aus unterschiedlich weit in der Zeit zurückliegenden Werten des Eingangssignals berechnet werden.

15 Bei der digitalen Filterung von zeitdiskreten Signalen, die in der Technik weit verbreitet ist, werden aus vergangenen Werten des Eingangssignals Ausgangssignalwerte berechnet. Dabei wird zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Wert des Ausgangssignals aus Werten des Eingangssignals berechnet, die unterschiedlich weit in der Zeit zurückliegen, wobei zusätzlich bei sog. rekursiven Filtern auch vergangene Werte des Ausgangssignals berücksichtigt werden können. Abhängig von der gewünschten Filtercharakteristik werden dabei unterschiedlich weit in die Vergangenheit zurückreichende Werte des Eingangssignals benötigt. In der Regel kann davon ausgegangen werden, je komplexer die gewünschte Filtercharakteristik ist, dass umso weiter in die Vergangenheit zurückreichende Werte des Eingangssignals benötigt werden. Eine komplexe Filtercharakteristik können beispielsweise steile Flanken, geringe Welligkeit im Sperrbereich und/oder Durchlassbereich oder mehrfache Sperrbereiche bzw. Durchlassbereiche sein.

35 In der Regel werden digitale Filter in integrierten Halbleitern realisiert, so dass der Speicherbedarf für die erforderlichen Eingangssignalwerte einen nachteiligen Aufwand im Bezug auf den Flächenbedarf des integrierten Halbleiters und dessen Leistungsbedarf darstellt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, mit denen ein geringer Schaltungsaufwand und eine geringe Leistungsaufnahme erreicht werden. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 12 gelöst. Die Unteransprüche definieren jeweils bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

Erfindungsgemäß werden die Werte des Eingangssignals, die zur Berechnung der Werte des Ausgangssignals erforderlich sind, komprimiert gespeichert bzw. zuerst komprimiert und anschließend in komprimierter Form in einem Speicher abgelegt. Aus diesem Speicher werden die Werte entsprechend den Erfordernissen zur Berechnung des Ausgangssignals abgerufen. Der Speicher ist vorteilhafterweise ein First-in-First-out-Speicher, in den die anfallenden komprimierten Werte des Eingangssignals an einem Ende geladen werden, wobei die bereits im First-in-First-out-Speicher gespeicherten Werte weitergeschoben werden, da bei der Berechnung der Werte des Ausgangssignals immer nur auf Werte des Eingangssignals zurückgegriffen werden müssen, die nicht weiter als eine bestimmte Anzahl von Zeitschritten zurückliegen.

Mit Hilfe der Komprimierung der Werte des Eingangssignals macht man sich die Tatsache zunutze, dass bei der Erzeugung des Eingangssignals durch Interpolation aus einem Vorsignal die Werte des Eingangssignals teilweise redundant sind. Dies bedeutet, dass die Werte des Eingangssignals verlustfrei komprimiert werden können und dabei der Datenumfang verringert werden kann. Auf diese Weise kann in einer Vorrichtung zur digitalen Filterung der Schaltungsaufwand und bei Realisierung in einem integrierten Halbleiter der Flächenbedarf verringert werden. Zusätzlich wird die Leistungsaufnahme ver-

ringert, da auf Grund des verkleinerten Speichers weniger Schaltvorgänge auftreten.

Vorteilhafterweise wird das realisierte digitale Filter als
5 Kammfilter ausgebildet. Kammfilter besitzen ein welliges
Stoppband, wie es beispielsweise in Figur 7 oben dargestellt
ist. In Figur 7 unten ist der zugehörige Phasenverlauf darge-
stellt. Kammfilter besitzen eine Mehrzahl von lokalen Minimas
10 zum Auslöschen von periodischen Spektralanteilen verwendet
werden können. Beispielsweise können mit der vorliegenden Er-
findung variable Kammfilter beliebiger und variabler bzw.
programmierbarer Ordnung realisiert werden. Gleiches gilt
für die Interpolation mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfah-
15 rens.

Derartige periodische Spektralanteile treten insbesondere bei
der Frequenzmultiplikation mit einem Faktor auf. Dieser Fak-
tor kann dabei sowohl ganzzahlig als auch nicht ganzzahlig
20 und sowohl >1 als auch <1 sein.

Vorteilhafterweise werden die Werte des Eingangssignals lauf-
längencodiert, wobei das Auftreten von zusammenhängenden Be-
reichen von gleichen Werten ausgenutzt werden kann. Vorteil-
25 hafterweise werden die Werte des Eingangssignals in Symbolpe-
rioden unterteilt, in denen ein zusammenhängender Bereich
nicht redundanter Speicherwerte und ein zusammenhängender Be-
reich oder zwei zusammenhängende Bereiche von Festwerten auf-
treten, die nicht explizit gespeichert werden müssen, sondern
30 auf andere Weise ermittelt bzw. rekonstruiert werden können.

Bei der Speicherung der Werte der Symbolperioden werden dabei
nur die nicht redundanten Speicherwerte gespeichert, da die
redundanten Festwerte auf andere Weise bestimmt werden kön-
35 nen.

Beispielsweise besteht die Möglichkeit, alle diejenigen Werte des Eingangssignals als Festwerte zu definieren, die gleich dem vorangegangenen sind, so dass diese Werte nicht mehr gespeichert werden müssen, da sie anhand des vorangegangenen Werts ermittelbar sind. Dabei muss nur ein Maß für die Anzahl der gleichen aufeinanderfolgenden Festwerte gespeichert werden. Dies kann entweder die Anzahl der Festwerte sein oder die Gesamtwerteanzahl aller Werte einer bestimmten Symbolperiode.

10

Vorteilhafterweise jedoch wird in Abhängigkeit des Verfahrens zur Interpolation des Eingangssignals aus dem Vorsignal bestimmt, wie viele Speicherwerte in einer Symbolperiode auftreten, die nicht redundant sind und einzeln gespeichert werden müssen. In diesem Fall muss nur der Beginn bzw. die Lage des Bereichs der Speicherwerte in der Folge der Eingangssignalwerte ermittelt werden und ab diesem Beginn die Anzahl an Eingangssignalwerten gespeichert werden, die wenigstens der zuvor ermittelten Mindestanzahl für Speicherwerte entspricht. Die bis zum Beginn des nächsten Bereichs von Speicherwerten auftretenden Festwerte brauchen nicht mehr gespeichert werden, wobei jedoch die Gesamtwerteanzahl in der Symbolperiode gespeichert wird, so dass aus der Gesamtwerteanzahl und den gespeicherten Speicherwerten die Symbolperiode vollständig rekonstruiert werden kann.

25

Bei der Berechnung der Werte für das Ausgangssignal muss auf die benötigten Eingangssignalwerte zugegriffen werden können. Dazu müssen die komprimiert gespeicherten Eingangssignalwerte wieder dekomprimiert werden. Bei einer Unterteilung der zu speichernden Eingangssignalwerte in nicht redundante Speicherwerte, die einzeln gespeichert werden müssen, und Festwerte, die auf andere Weise rekonstruiert werden können und daher nicht gespeichert werden müssen, kann die Dekomprimierung vorteilhafterweise dadurch erfolgen, dass zum Zugriff auf einen bestimmten Wert des Eingangssignals zunächst ermittelt wird, ob dieser bestimmte Wert ein Speicherwert oder ein

30

35

5

Festwert war. Falls der bestimmte Wert ein Speicherwert war, wird die Adresse berechnet, mittels der auf dem gesuchten Wert im Speicher zugegriffen werden kann. Im anderen Fall, wenn der gesuchte Wert ein Festwert war, wird dieser auf andere Weise rekonstruiert.

Zur Rekonstruktion der Festwerte kann beispielsweise vorgesehen sein, dass alle Festwerte aus dem letzten vorangegangenen Speicherwert berechnet werden können oder im einfachsten Fall gleich diesem sind. In diesem Fall wird zum Zugriff auf einen bestimmten Wert des Eingangssignals die Adresse für den Speicherwert bestimmt, der entweder den gesuchten Eingangssignalswert darstellt, weil der gesuchte Wert des Eingangssignals ein Speicherwert war, oder in Abhängigkeit dessen der gesuchte Wert des Eingangssignals berechnet werden kann. Wenn die nicht gespeicherten Festwerte jeweils dem letzten vorangegangenen Speicherwert entsprechen, kann in diesem Fall bei Zugriff auf einen Festwert die Adresse des letzten vorangegangenen Speicherwerts berechnet werden und dieser als gesuchter Wert verwendet werden.

Für all diese Berechnungen ist die Kenntnis über die Lage der Speicherwertebereiche innerhalb der Abfolge der Eingangssignalswerte erforderlich. Diese Information kann beispielsweise in Gestalt der Gesamtwerteanzahlen der Symbolperioden gespeichert werden.

Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau einer Schaltungsanordnung zur Auftaktung und analogen Ausgabe eines Datensignals,

Figur 2 zeigt den Verlauf des aufgetakteten Datensignals,

Figur 3 zeigt die Verläufe von informationstragenden Werten in Abschnitten des Verlaufs gemäß Figur 2,

Figur 4 zeigt den zeitlichen Verlauf eines durch Auftaktung gewonnenen Eingangssignals mit zeitdiskreten Werten,

Figur 5 zeigt ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Dekompression komprimiert gespeicherter Werte des Eingangssignals bzw. zur Berechnung der Adresse zum Zugriff auf komprimiert gespeicherte Werte des Eingangssignals,

Figur 6 zeigt eine Implementierung des digitalen Differenzierers unter Verwendung der Eingangswerte, und

Figur 7 zeigt schematisch oben das Stoppband und darunter den zugehörigen Phasenverlauf eines Kammfilters.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert.

In Figur 1 ist das Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Übertragung von Daten gemäß dem SHDSL-System beschrieben. Dabei enthält ein Datensignal 1 die zu übertragenden Daten. Die zu übertragenden Daten werden grundsätzlich in einem Digital-/Analog-Wandler 8 in Analogwerte umgewandelt, mit denen eine zur Datenübertragung verwendete Leitung beaufschlagt wird, wobei der Takt, mit dem der Digital-/Analog-Wandler 8 die Analogwerte erzeugt, konstant gehalten werden soll.

Im Gegensatz zum Takt der Analogwerte sollen dagegen für die Daten im Datensignal 1 unterschiedliche Raten möglich sein. Aus diesem Grund besteht die Notwendigkeit, mit einer ersten Frequenz anfallende Daten im Datensignal 1 in eine Reihe von Analogwerten mit einer zweiten Frequenz umzuwandeln. Dazu wird das Datensignal 1 aufgetaktet, wobei durch Interpolation aus den Werten des Datensignals 1 weitere Werte berechnet werden. Zunächst beaufschlagt das Datensignal 1 ein Vorfilter 5 zur Entfernung unerwünschter Spektralanteile.

35

An das Vorfilter 5 schließt sich ein Auftakter 6 mit variablem Auftaktverhältnis bzw. Frequenzverhältnis an. Der Auftak-

ter 6 ist in der Lage, auch nicht geradzahlige Auftaktverhältnisse zu realisieren, so dass die Frequenz eines Eingangssignals 3 am Ausgang des Auftakters 6 ein auch nicht ganzzahliges Vielfaches des Vorsignals 2 sein kann. Durch die
 5 Auftaktung im Auftakter 6 entstehen weitere Spektralanteile im Eingangssignal 3. Diese sollen in einem digitalen Filter 7 herausgefiltert werden, dessen Ausgangssignal 4 schließlich den Digital-/Analog-Wandler 8 beaufschlagt. Das digitale Filter 7 dient als Anti-Aliasing-Filter für den Digital-/Analog-
 10 Wandler 8.

Als Filtertyp für das digitale Filter 7 soll ein Kammfilter verwendet werden, dessen Durchlaufskurve schematisch in Figur 8 oben zusammen mit dem darunter dargestellten Phasenverlauf
 15 abgebildet ist. Das Kammfilter bietet den Vorteil, dass es mehrere Nullstellen besitzt, mit denen sich periodische Spektralanteile hervorragend unterdrücken lassen.

Die z-Transformierte der Übertragungsfunktion eines Kammfilters lässt sich allgemein mit der folgenden Formel beschreiben.

$$\begin{aligned}
 H^K(z) &= \frac{1}{N^K} \left[\sum_{i=0}^{N-1} z^{-i} \right]^K = \frac{1}{N^K} \left[\frac{1 - z^{-N}}{1 - z^{-1}} \sum_{i=0}^{N-1} z^{-i} \right]^K = \frac{1}{N^K} \left[\frac{\sum_{i=0}^{N-1} z^{-i} (1 - z^{-1})}{1 - z^{-1}} \right]^K \\
 &= \frac{1}{N^K} \left[\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (z^{-i} - z^{-i-1})}{1 - z^{-1}} \right]^K = \frac{1}{N^K} \left[\frac{1 - z^{-N}}{1 - z^{-1}} \right]^K
 \end{aligned}$$

25

In dem letzten Term der obigen Gleichung ist die Übertragungsfunktion in einen Bruch umgewandelt worden, in dem der Zähler einen Differenzierer und der Nenner einen Integrierer bildet.

30

Im beschriebenen Ausführungsbeispiel sollen die Analogwerte, die vom Digital-/Analog-Wandler 8 erzeugt werden, mit einer Frequenz von 20,48 MHz übertragen werden. Die Rate, mit der im Datensignal 1 die Daten anfallen, kann dagegen sehr gering
5 sein. Abhängig davon, wie die Daten im Datensignal codiert sind, ergeben sich die Spektralanteile des Datensignals 1. Beispielsweise ergibt sich bei einer Übertragungsrate von 200 kbps eine Frequenz für das Datensignal 1 von 66,6 KHz. Auf Grund des vergleichsweise niederfrequenten Spektralbereichs
10 des Datensignals 1 entstehen nach der Auftaktung in relativ geringen Abständen Spiegelfrequenzbereiche. Ein Filter zur Unterdrückung dieser Frequenzbereiche muss daher bei geringen Datenraten des Datensignals 1 eine geringe Eckfrequenz aufweisen.

15

Figur 2 ist der Verlauf des Eingangssignals 3 bei einem Gesamtaufaktverhältnis von 26,3 und einer Interpolation dritter Ordnung dargestellt. Im oberen Diagramm ist zur Verdeutlichung die Codierung mit 0 und +1 dargestellt, wobei kein
20 Repeater vorgesehen ist und die Codierung auch mit anderen Werten erfolgen kann. Im unteren Diagramm ist die Codierung mit ± 1 dargestellt, wobei ein Repeater vorgesehen ist.

25

In beiden Diagrammen ist deutlich zu sehen, dass von der Interpolation nur die Übergänge betroffen sind. Dazwischen treten mehrere gleiche Werte für das Eingangssignal 3 auf. Nach einer Anzahl von Werten des Eingangssignals 3, die gleich der Interpolationsordnung zuzüglich 1 ist, ergibt sich ein konstanter Wert. Die Werte des Eingangssignals 3 lassen sich so-
30 mit in Symbolperioden unterteilen, die jeweils einem Datenwert im Datensignal 1 entsprechen. Auf Grund des nicht ganzzahligen Auftaktverhältnisses von 6,575 kann eine Symbolperiode 6 oder 7 Werte des Eingangssignals 3 umfassen.

35

Da innerhalb einer Symbolperiode ein Teil der Werte ohnehin konstant ist, eignen sich die Daten zur verlustfreien Komprimierung, insbesondere durch Lauflängencodierung. Die Anzahl

der redundanten Werte des Eingangssignals 3, die einem festen vorbestimmten Wert entsprechen, steigt mit dem Auftaktverhältnis.

- 5 Im beschriebenen Ausführungsbeispiel werden von jeder Symbolperiode vier (Interpolationsordnung + 1) Werte des Eingangssignals 3 und die Länge der jeweiligen Symbolperiode gespeichert. Selbstverständlich werden nur die vier Werte von jeder Symbolperiode gespeichert, die die Information tragen und
10 nicht gleich einem festen Wert sind.

- In Figur 3 sind in zwei Spalten für die zwei Werteverläufe in Figur 2 die Werte angegeben, die gespeichert werden. Dabei sind in der linken Spalte für sechs Symbolperioden jeweils
15 die vier Werte des Eingangssignals 3 angegeben, die bei dem in Figur 2 oben angegebenen Verlauf gespeichert werden. Die rechte Spalte stellt in gleicher Weise die für den im unteren Diagramm in Figur 2 dargestellten Verlauf der Werte des Eingangssignals 3 die für die sechs Symbolperioden jeweils zu
20 speichernden vier Werte dar. Die in Figur 3 dargestellten Werte werden im Folgenden als Speicherwerte bezeichnet, da sie die Informationsträger sind und explizit gespeichert werden müssen. Die übrigen Werte des Eingangssignals 3 werden als Festwerte bezeichnet, da sie einem festen Wert entsprechen, der von vornherein bekannt ist und somit auch ohne
25 Speicherung leicht rekonstruierbar ist. Bei dem in Figur 2 oben dargestellten Verlauf des Eingangssignals 3 betragen die Festwerte immer 0. Bei dem in Figur 2 unten dargestellten Diagramm nehmen die Festwerte jeweils den Zustand des letzten
30 Speicherwerts an.

- Das im beschriebenen Ausführungsbeispiel verwendete Kammfilter soll ein Kammfilter dritter Ordnung sein. Ausgehend von der allgemeinen Formel für ein Kammfilter ergibt sich somit
35 als z-transformierte der Übertragungsfunktion die folgende Formel:

$$H^3(z) = \frac{1}{N^K} \left[\frac{1-z^{-N}}{1-z^{-1}} \right]^3 = \frac{1}{N^K} (1-z^{-N})^3 \left(\frac{1}{1-z^{-1}} \right)^3$$

In der angegebenen Formel beschreibt N einen Interpolationsfaktor bzw. Dezimationsfaktor, der die Anzahl der Nullstellen in der Übertragungsfunktion angibt. Der Dezimationsfaktor N wird vorteilhafterweise in Abhängigkeit des Auftaktverhältnisses gewählt, wobei der Dezimationsfaktor N ganzzahlig ist und durch Runden des Auftaktverhältnisses gewonnen werden kann oder absichtlich verstimmt werden kann.

10

Im folgenden soll zunächst auf den Zähler der Übertragungsfunktion für das Kammfilter eingegangen werden, der einen Differenzierer beschreibt. Bei dem vorliegenden Kammfilter dritter Ordnung ergibt sich der Zähler der Übertragungsfunktion zu:

15

$$H^3(z) = (1-z^{-N})^3 = 1-3z^{-N} + 3z^{-2N} - z^{-3N}$$

Aus der vorstehenden Formel ergibt sich, dass auf 3 mal N Werte in der Vergangenheit des Eingangssignals 3 zurückgegriffen werden muss. Anzumerken ist, dass die Art der Berechnung der Differentiation unerheblich für die vorliegende Erfindung ist.

Wie zuvor beschrieben werden von jeder Symbolperiode des Eingangssignals 3 die vier informationstragenden Werte und die Länge der jeweiligen Symbolperiode gespeichert. Die Speicherwerte werden dabei lückenlos in ein First-in-First-out-Speicher abgespeichert. Um aus diesem den richtigen Wert abzurufen, muss erst die richtige Speicheradresse des First-in-First-out-Speichers berechnet werden.

Im folgenden wird unter Bezugnahme auf die Figuren 4 und 5 die Berechnung der Adressierung beschrieben, wobei die Interpolationsordnung 5 beträgt und das Auftaktverhältnis 10,5 beträgt. Die Werte des Eingangssignals 3 sind in Figur 4 darge-

11

stellt, wobei die Werte in Symbolperioden D0 bis D3 unterteilt sind. Die Symbolperiode D0 ist die aktuelle Symbolperiode, von der nur drei Werte vorliegen. Die links davon liegenden Werte bzw. Symbolperioden D1 bis D3 sind die zeitlich vorangegangenen Symbolperioden. Die Symbolperiode D1 umfasst 11 Werte, die Symbolperiode D2 umfasst 10 und die Symbolperiode D3 umfasst wieder 11 Werte. Da die Interpolationsordnung 5 beträgt, werden für jede Symbolperiode 6 Werte gespeichert. Die Unterteilung der Werte in die Symbolperioden erfolgt dabei so, dass die 6 nicht redundanten Speicherwerte zu Beginn jeder Symbolperiode liegen. Der Dezimationsfaktor N ist hier gleich 11 gewählt. Ausgehend von dem rechts abgebildeten, aktuellen Wert des Eingangssignals 3 sind durch 3 Pfeile die Werte angegeben, die 1 mal N, 2 mal N und 3 mal N zurückliegen und den Termen z^{-N} , z^{-2N} und z^{-3N} entsprechen.

In Figur 5 ist ein Blockschaltbild der Berechnung der Adresse zum Zugriff auf den richtigen Wert des Eingangssignals 3 wiedergegeben. In den oben abgebildeten Blöcken D0 bis D5 sind in Registern bzw. allgemein in Speicherzellen die Längen der vergangenen Symbolperioden abgespeichert. Das Register D0 enthält die Länge der aktuellen Symbolperiode, im vorliegenden Beispiel 3. Das Register D1 würde den Speicherinhalt 11, das Register D2 den Speicherinhalt 10 und das Register D3 den Speicherinhalt 11 aufweisen. Gleiches gilt für die Register D4 und D5. Da im vorliegenden Fall das Kammfilter dritter Ordnung ist, würde eigentlich die Abspeicherung der aktuellen Symbolperiode zuzüglich der vergangenen 3 ausreichen. Das Register D5 wäre in diesem Fall überflüssig, wird aber aus Gründen der Flexibilität beibehalten, falls der Interpolationsfilter verstimmt werden soll.

In Abhängigkeit davon, ob der Wert z^{-N} , z^{-2N} oder z^{-3N} benötigt wird, wird ein Multiplexer 9 angesteuert, der einen entsprechenden Wert 1 mal N, 2 mal N oder 3 mal N (wobei $N = 11$) vorgibt. Der Ausgang des Multiplexers 9 beaufschlagt ein Subtrahierglied 10, das von dem Ausgangssignal des Multiplexers

12

D9 den Inhalt des Registers D0 abzieht. Vom Ergebnis dieser Subtraktion wird von einem nachfolgenden Subtrahierglied 10 der Registerinhalt D1 abgezogen. Dieses setzt sich fort bis zum Register D5. Da der vom Multiplexer 9 vorgegebene Wert sich zwischen 11 und 33 bewegt, die Speicherinhalte D0 bis D5 jedoch ≤ 11 sind, wird abhängig von den konkreten Registerinhalten das Ergebnis der ersten Subtraktionen noch positiv sein, bis irgendwann die Subtraktion in einem Subtrahierglied 10 ein negatives Ergebnis liefert. Dieser Vorzeichenwechsel wird von einem Block 11 erkannt, der auf diese Weise feststellt, in welche Symbolperiode der gesuchte Wert fällt. Der gesuchte Wert fällt in die Symbolperiode D0 bis D5, deren zugeordnetes Subtrahierglied 10 als erstes einen negativen Ausgangswert liefert. Dieses als erstes negativ ausgefallene Subtraktionsergebnis wird an einen Umsetzer 12 weitergeleitet, der ermittelt, in welcher Symbolperiode der gesuchte Wert zu finden ist. Dazu erzeugt der Umsetzer 12 aus dem vom Block 11 gelieferten Selectsignal für MUX ein Auswahlsignal für einen Multiplexer 13. Das Ergebnis wird an den Multiplexer 13 weitergeleitet, an dessen Eingängen die Subtraktionsergebnisse der Subtrahierglieder 10 anliegen und der mittels der Ansteuerung durch den Umsetzer 12 die Stelle ausgibt, an der der gesuchte Wert in der entsprechenden Symbolperiode steht.

Der Multiplexer 13 liefert daraufhin den gewünschten Wert, mit dem ein Abschlussblock 14 beaufschlagt wird, der dafür sorgt, dass bei Zugriff auf die nicht gespeicherten Werte einer Symbolperiode der letzte gespeicherte Wert ausgegeben wird. Dazu bildet der Abschlussblock 14 den Absolutwert des angelegten Werts und saturiert ihn auf Interpolationsordnung +1. Wie in Figur 4 zu sehen ist, werden von jeder Symbolperiode D0 bis D3 nur die ersten 6 Werte gespeichert. Die übrigen betragen immer 0 und müssen daher nicht gespeichert werden. Wenn auf diese Werte zugegriffen wird, weil die Berechnung es erfordert, sorgt der Abschlussblock 14 dafür, dass als Wert

der in dieser Symbolperiode als letztes gespeicherte Wert ausgegeben wird.

Die zuvor beschriebene Dekompressionsschaltung zur Bereitstellung der Eingangswerte kann auch sequentiell oder iterativ ausgebildet sein. Ferner kann die beschriebene Dekompressionsschaltung statt mit Subtrahierern mit Addierern oder anderen arithmetischen Mitteln verwirklicht werden.

In Figur 6 ist die Implementierung des Zählers des Kammfilters dargestellt. Die Blöcke 17 geben die Eingangswerte z^{-1N} , z^{-2N} und z^{-3N} bzw. $z^{-0N} = 1$ wieder. Die Blöcke 15 stellen jeweils Shift-Operationen dar, mit denen der Eingangswert um eine Binärstelle nach links geschoben wird, welches einer Multiplikation mit dem Faktor 2 gleichkommt. Die Werte z^{-1N} und z^{-2N} werden somit jeweils mit 2 multipliziert und mit sich selber addiert, so dass sich eine Multiplikation mit dem Faktor 3 ergibt. Der Term 3 mal z^{-1N} wird anschließend von dem Term z^{-0N} bzw. 1 subtrahiert, wohingegen von dem Term 3 mal z^{-2N} der Werte z^{-3N} subtrahiert wird. Die Ergebnisse werden addiert und liefern den Ausgangswert 16.

Diese Schaltung realisiert nun die eigentliche Berechnung des Differenzierers dritter Ordnung als ein Teil des Kammfilters dritter Ordnung. Die Berechnung über das bereits beschriebene Polynom

$$H^3(z) = 1 - 3z^{-N} + 3z^{-2N} - z^{-3N}$$

ist der Kaskadenschaltung

$$H^3(z) = (1 - z^{-N})(1 - z^{-N})(1 - z^{-N})$$

vorzuziehen, da die Werte z^{-KN} aus den gleichen komprimierenden FIFO geladen werden können.

14

Der Nenner der gewünschten Übertragungsfunktion des Kammfilters stellt einen einfachen Integrator dritter Ordnung dar, auf den im folgenden nicht weiter eingegangen werden soll, da die Realisierung jedem Fachmann geläufig ist.

5

Abschließend kann festgehalten werden, dass mit der vorliegenden Erfindung mit einem Kammfilter ein ausgezeichnetes Anti-Aliasing-Filter geschaffen werden kann, wobei die typischen Nachteile von Kammfiltern vermieden werden konnten.

10

Insbesondere wird ein geringer Speicherbedarf für die vergangenen Werte des Eingangssignals und somit eine geringe Leistungsaufnahme erreicht.

15

Patentansprüche

1. Verfahren zur digitalen Filterung eines zeitdiskreten Eingangssignals (3), das durch Interpolation eines zeitdiskreten
5 Vorsignals (2) erzeugt wurde, wobei die Frequenz des Eingangssignals (3) ungleich der Frequenz des Vorsignals (2) ist und Werte eines Ausgangssignals (4) der digitalen Filterung in Abhängigkeit von unterschiedlich weit in der Zeit zurückliegenden Werten des Eingangssignals (3) berechnet werden,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass die Werte des Eingangssignals (3) komprimiert und komprimiert gespeichert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die Werte des Eingangssignals (3) verlustfrei komprimiert werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
20 dadurch gekennzeichnet,
dass die Werte des Eingangssignals (3) laüflängencodiert werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass die Werte des Eingangssignals (3) in Symbolperioden (D0-D5) unterteilt werden, in denen jeweils ein zusammenhängender Bereich von Speicherwerten des Eingangssignals (3), die voneinander verschieden sind, und jeweils ein zusammenhängender
30 Bereich oder zwei zusammenhängende Bereiche von Festwerten des Eingangssignals (3) auftreten, die gleich dem zeitlich vorangegangenen Wert des Eingangssignals sind, und nur die Speicherwerte des Eingangssignals (3) und die Gesamtwerteanzahl der Symbolperioden (D0-D5) gespeichert werden.

35

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Werte des Eingangssignals (3) in Symbolperioden (D0-D5) unterteilt werden, in denen jeweils eine feste Anzahl von Speicherwerten des Eingangssignals (3), wobei die Anzahl der Speicherwerte in Abhängigkeit der Ordnung der Interpolation
5 ermittelt wird, und jeweils ein zusammenhängender Bereich oder zwei zusammenhängende Bereiche von Festwerten des Eingangssignals (3) auftreten, wobei die Festwerte Werte des Eingangssignals (3) sind, die gleich dem zeitlich vorangegangenen Wert des Eingangssignals (3) sind, und nur die Speicherwerte und die Gesamtwertanzahl der Symbolperioden (D0-D5) gespeichert werden.
10

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass beim Zugreifen auf einen bestimmten gespeicherten Wert des Eingangssignals (3) in Abhängigkeit der Längen von gespeicherten Symbolperioden (D0-D5) ermittelt wird, zu welcher Symbolperiode (D0-D5) der bestimmte Wert des Eingangssignals (3) gehört, an welcher Stelle der bestimmte Wert des Eingangssignals (3) in der Symbolperiode steht und abhängig davon, ob die Stelle des bestimmten Werts innerhalb der Symbolperiode einem Speicherwert oder einem Festwert entspricht, als bestimmter Wert ein entsprechender Speicherwert des Eingangssignals (3) oder ein rekonstruierter Festwert verwendet
20 wird.
25

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Speicherwerte der verschiedenen Symbolperioden (D0-D5) lückenlos in einem Speicher abgelegt werden.
30

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Werte des Eingangssignals (3) in einem komprimierenden First-in-First-out-Speicher gespeichert werden.
35

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

17

dadurch gekennzeichnet,
dass das realisierte digitale Filter ein Kammfilter (7) ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass das Eingangssignal (3) durch ganzzahlige oder nicht
ganzzahlige Frequenzmultiplikation des Vorsignals (2) erzeugt
wird.

10 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die digitale Filterung ein Anti-Aliasing-Filter ist.

12. Vorrichtung zur digitalen Filterung eines zeitdiskreten
15 Eingangssignals (3) mit einem Auftakter (6) zur Erzeugung des
Eingangssignals (3) durch Interpolation eines zeitdiskreten
Vorsignals (2), wobei die Frequenz des Eingangssignals (3)
ungleich der Frequenz des Vorsignals (2) ist und die Vorrich-
tung derart eingerichtet ist, dass sie Werte eines Ausgangs-
20 signals (4) aus unterschiedlich weit in der Zeit zurücklie-
genden Werten des Eingangssignals (3) berechnen kann,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung derart eingerichtet ist, dass sie zur
Berechnung von Werten des Ausgangssignals (4) erforderliche
25 Werte des Eingangssignals (3) komprimieren und komprimiert
abspeichern kann.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach
einem der Ansprüche 1 bis 11 eingerichtet ist.

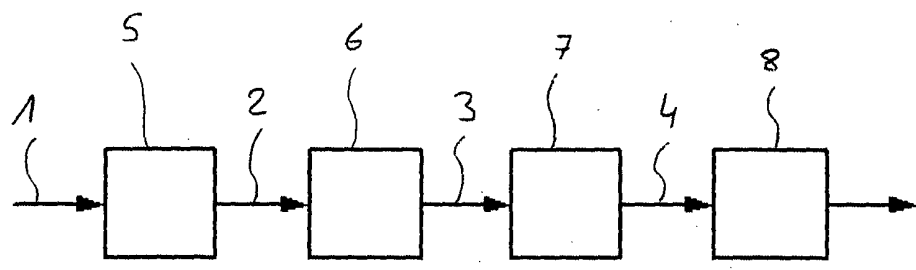


FIG. 1

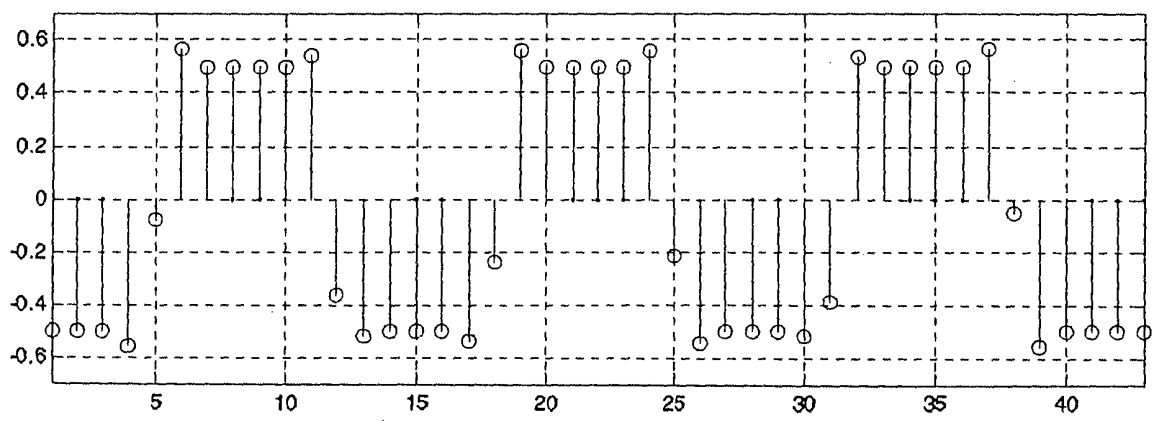
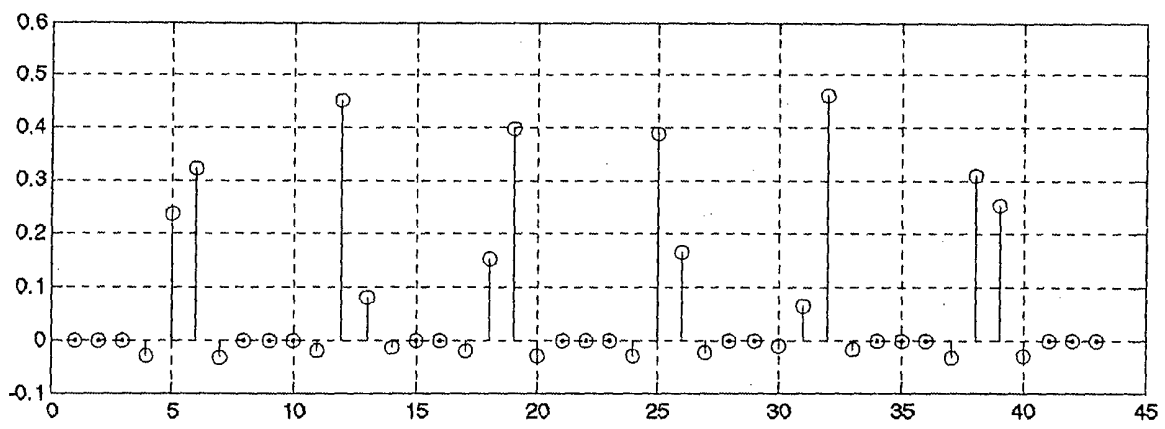


FIG. 2

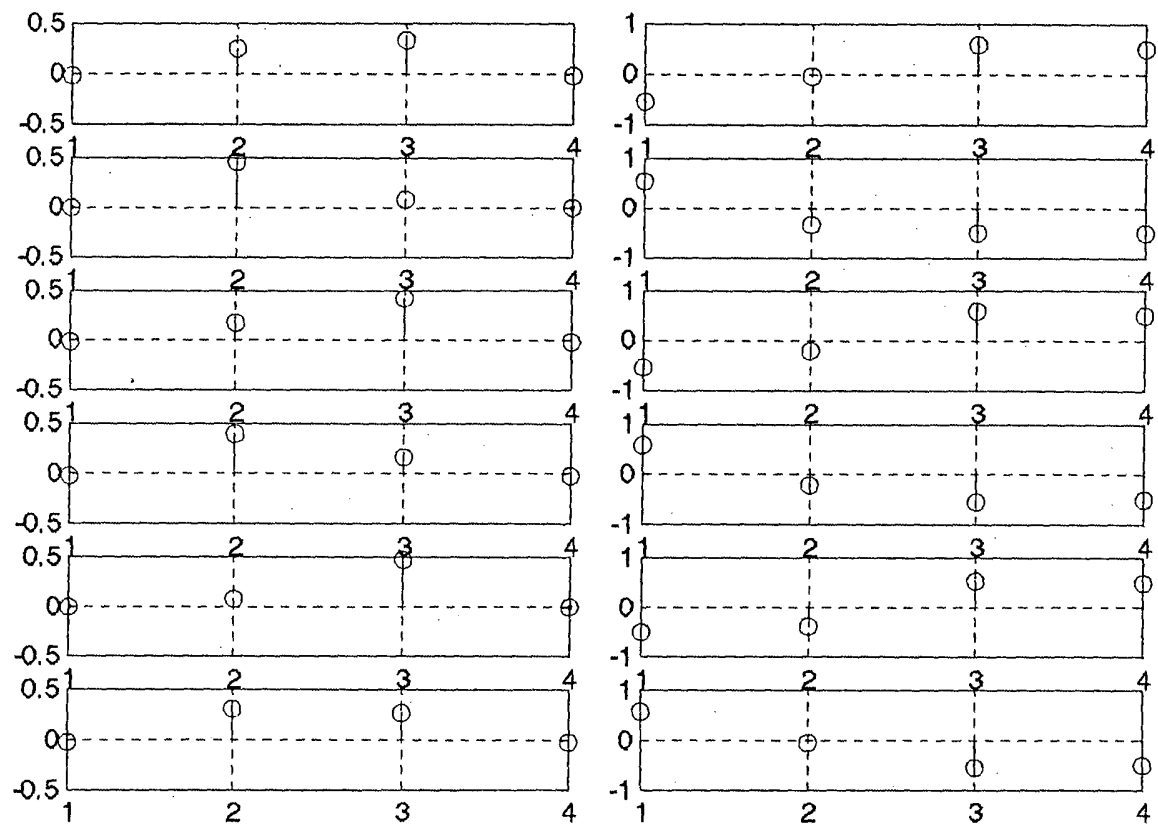


FIG. 3

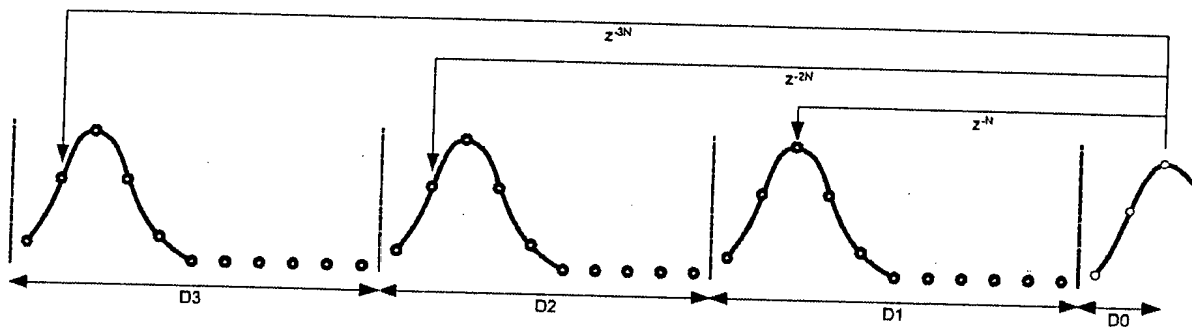


FIG. 4

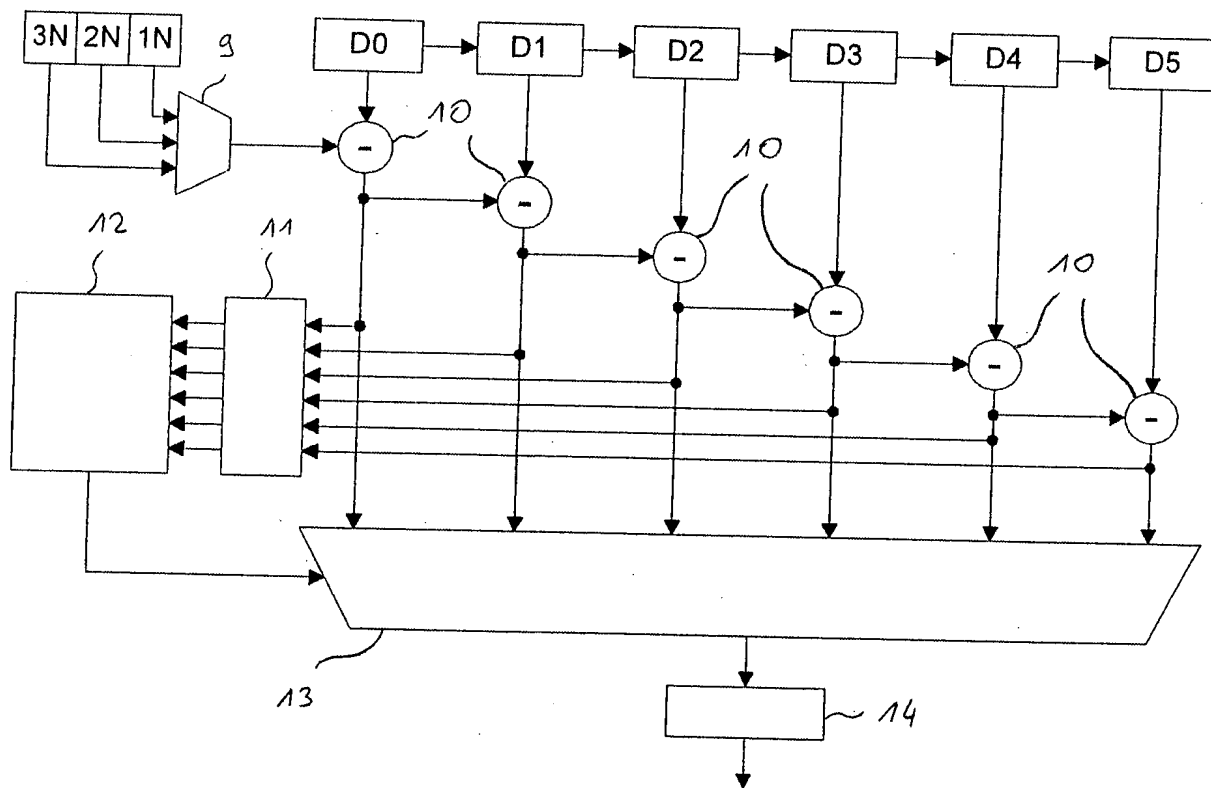


FIG. 5

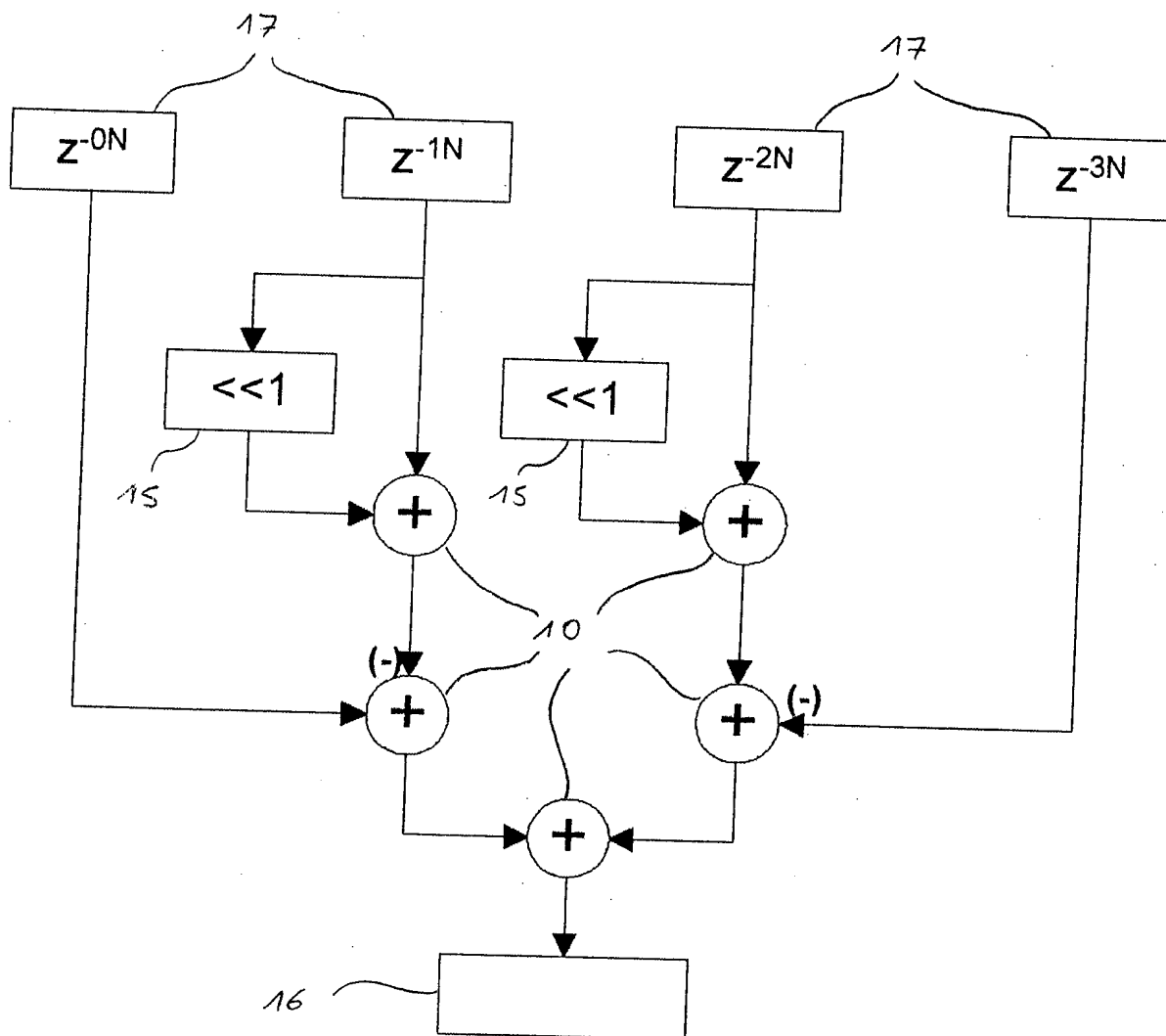


FIG. 6

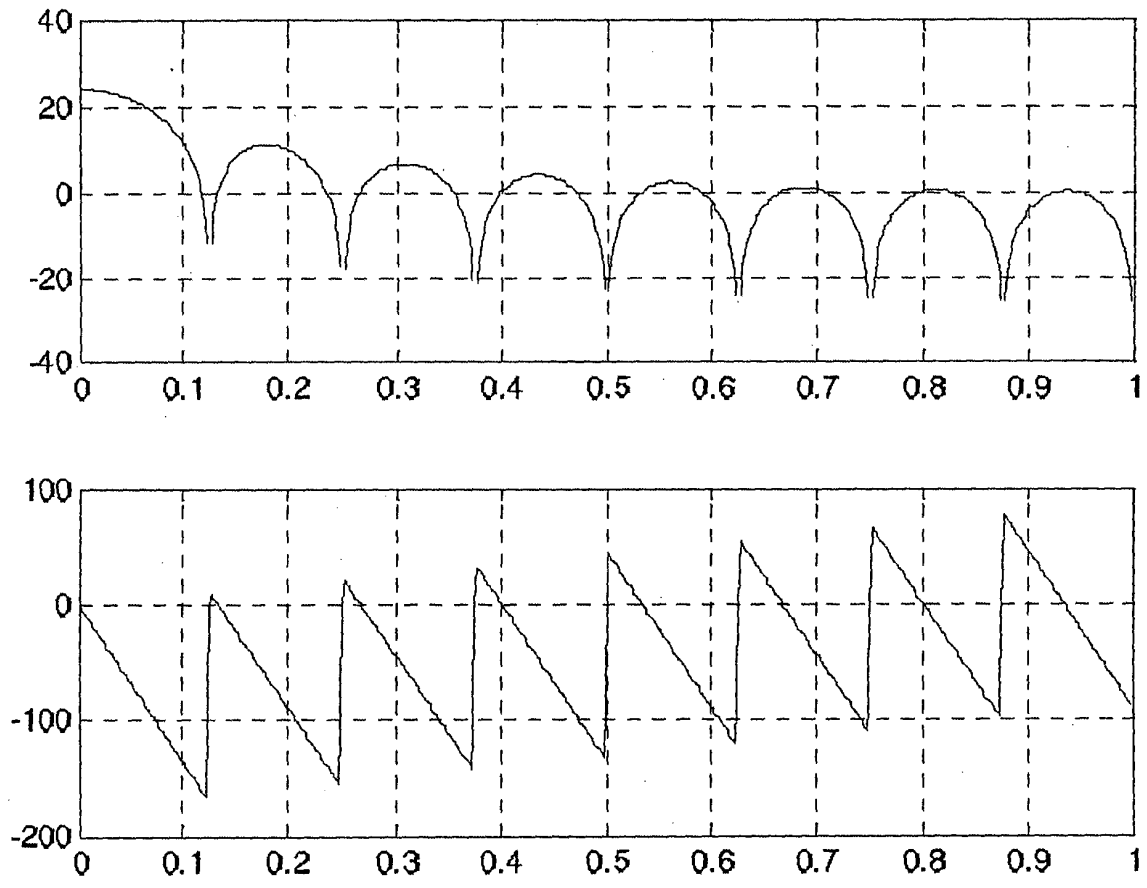


FIG. 7

Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur digitalen Filterung interpolierter Werte

5

Bei der digitalen Filterung eines Eingangssignals (3), das durch Interpolation eines Vorsignals (2) erzeugt worden ist, müssen unter Umständen zahlreiche in der Vergangenheit liegende Werte gespeichert werden. Um den Speicherbedarf dafür und den damit verbundenen Leistungsbedarf zu verringern, werden die Werte des Eingangssignals (3), die zur Berechnung der Werte eines Ausgangssignals (4) benötigt werden, komprimiert und komprimiert gespeichert. Insbesondere werden dabei die Werte des Eingangssignals (3) in Symbolperioden unterteilt, in denen jeweils ein zusammenhängender Bereich von Speicherwerten vorkommt, die die einzigen informationstragenden Werte in der Symbolperiode sind. Diese Werte werden zusammen mit der Länge der Symbolperiode gespeichert, so dass jede Symbolperiode vollständig beschrieben werden kann und dennoch der Speicherbedarf verringert ist. Die zu speichernden Werte können lückenlos in ein FIFO-Speicher gespeichert werden, wobei in Abhängigkeit der Länge der Symbolperioden eine Adresse berechnet wird, unter der in den FIFO-Speicher auf den gewünschten Wert zugegriffen werden kann. Falls bei den Berechnungsvorschriften des digitalen Filters auf einen nichtinformationstragenden Wert zugegriffen werden muss, der nicht in dem FIFO-Speicher abgespeichert ist, wird dieser Wert rekonstruiert, wobei insbesondere der in der zeitlichen Folge zuletzt vorangegangene informationstragende und somit im FIFO-Speicher abgelegte Wert verwendet wird.

10

15

20

25

30

(Figur 5)

4

